

УДК 615.47

М.А. Бутов, В.Н. Локтюхин, О.А. Маслова, А.А. Черепнин

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ВИДЕОЭНДОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Рассматриваются принципы построения компьютерной системы поддержки принятия решений в видеоэндоскопических системах с расширенными функциональными возможностями для более точного учета при постановке диагноза сведений из истории болезни и степени влияния на заболевание многочисленных патогенетических факторов. Описывается применение систем нечеткого логического вывода для работы с такого рода данными при диагностике заболеваний желудка и двенадцатиперстной кишки.

Введение. Ключевую роль в видеоэндоскопических системах (ВЭС) с расширенными функциональными возможностями [1] играет компьютерная система поддержки принятия решений (СППР). Ее включение в состав ВЭС дает возможность при постановке диагноза уменьшить влияние субъективности мнения врача, особенно при его малом опыте и чрезмерной утомляемости в ходе эндоскопического обследования пациентов, а также более точно учесть влияние на заболевание многочисленных патогенетических факторов и данных истории болезни. В связи с этим является актуальным разработка алгоритмического обеспечения СППР, наилучшим образом поддерживающего принятие врачом диагностических решений.

Теоретические исследования. При создании рассматриваемой в данной работе подсистемы поддержки принятия решений учитывается, что оперируемые данные характеризуются их разновидностями (количественные и качественные признаки заболеваний) и их значительным числом. Многообразие исходных данных во многом обусловлено спецификой эндоскопического обследования, предоставляющего врачу целый ряд сведений, которые необходимо учитывать при анализе патологии наряду с данными из истории болезни. При этом необходимо отметить, что СППР поддерживает последовательное принятие решений на трех стадиях диагностики заболевания:

1. Предварительное выявление патологий на основании данных из истории болезни и составление плана дальнейшего обследования.

2. Принятие оперативных решений в процессе визуального исследования органов пищеварительного тракта пациента врачом-

эндоскопистом.

3. Поддержка постановки заключительного диагноза врачом-клиницистом.

Для работы с такого рода данными целесообразно использовать аппарат нечеткой логики, что обусловлено следующими его достоинствами [2]:

- возможностью обработки лингвистических (качественных) переменных (ЛП);

- наличием алгоритма логического вывода, прозрачного для анализа и его модификации за счет изменения системы правил нечеткой продукции (ПНП);

- возможностью описания функционирования объекта исследования с помощью системы ПНП, которая является его лингвистической моделью.

С учетом этого построение алгоритма нечеткого вывода для предлагаемой СППР будет опираться на 6 основных этапов, характерных для большинства систем на основе ПНП:

- 1) формирование базы правил логического вывода, 2) фазсификация (приведение к нечеткости) входных переменных, 3) агрегирование подусловий, 4) активация подзаключений, 5) аккумуляирование заключений, 6) дефазсификация выходных ЛП (при необходимости).

Из известных алгоритмов нечеткого логического вывода [3] (Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото и др.) выбран алгоритм Ларсена, позволяющий максимально сократить при его реализации количество нелинейных функций $\min$ и $\max$. Наряду с этим, исходя из эндоскопической практики, его применение для определения заболевания целесообразно в связи с тем, что при увеличении числа выявленных симптомов диагноз устанавливается более точно, в то время как

при отсутствии некоторых из них его точность не уменьшается. В связи с этим предварительно исключаются несущественные факторы.

Экспериментальные исследования. Далее раскрывается содержание этапов нечеткого логического вывода для СППР при диагностике заболеваний желудка и двенадцатиперстной кишки.

Этап 1 описывает формирование совокупности ПНП, опирающееся на проводимые в начале операции структурирования и конкретизации исходных и итоговых данных. С этой целью система нечеткого вывода представляется в виде модели «черного ящика», которая для видеозендоскопического исследования выполняет функцию преобразования совокупности значений симптоматических (СФ) и патогенетических (ПФ) факторов как входных лингвистических переменных (ВхЛП) системы в рекомендации по

постановке диагноза как выходных лингвистических переменных (ВыхЛП).

ВхЛП в данной системе представляют в виде совокупности факторов (СФ и ПФ). Значения ВхЛП берутся из истории болезни пациента, которая формируется врачами различных специализаций. Факторы могут быть либо качественными (изначально лингвистические переменные ЛП), либо количественными (изначально числовые переменные ЧП, приводимые к лингвистическим посредством фазификации). На основе выборки 75 историй болезни и учета анализа литературных источников [3, 4] совокупность ВхЛП для ВЭС для заболеваний желудка построена в виде таблицы 1.

Факторы из таблицы 1 подразделяются на четкие (+) и нечеткие (-), а также независимо от этого – на симптоматические СФ и патогенетические ПФ (таблица 2).

Таблица 1 – Совокупность ВхЛП (или факторов) для ВЭС

№	Название	Сокращенное обозначение	Четкость	Тип фактора	Изначально ЛП или ЧП
1	Наличие боли	НалБ	-	СФ	ЛП
2	Локализация боли	ЛокБ	-	СФ	ЛП
3	Иррадиация	Ирр	-	СФ	ЛП
4	Связь боли с приемом пищи	СБПП	+	СФ	ЧП
5	Сезонность боли	СезБ	-	СФ	ЛП
6	Купируемость боли	Куп	-	СФ	ЛП
7	Изжога	Изж	-	СФ	ЛП
8	Отрыжка	Отр	-	СФ	ЛП
9	Аппетит	Апп	-	СФ	ЛП
10	Стул	Ст	+	СФ	ЧП
11	Кислотность желудочного сока	КислЖС	+	СФ	ЧП
12	Степень обсемененности Нр	СО Нр	-	СФ	ЛП
13	Возраст	Возр	+	ПФ	ЧП
14	Пол	П	-	ПФ	ЛП
15	Отягощенная наследственность	ОН	+	ПФ	ЧП
16	Курение	Кур	+	ПФ	ЧП
17	Употребление крепких спиртных напитков (>10°)	Алк	+	ПФ	ЧП
18	Физические и нервно-психологические перегрузки	ФНП	-	ПФ	ЛП

Таблица 2 – Классификация ВхЛП (или факторов)

	Нечеткие (-)	Четкие (+)
СФ	НалБ; ЛокБ; Ирр; СезБ; Куп; Изж; Отр; Апп; СО Нр	СБПП; Ст; КислЖС
ПФ	П; ФНП	Возр; ОН; Кур; Алк

Курсивом в данной таблице выделены факторы, непосредственно связанные с болью и дискомфортом. Они отдельно учитываются при формировании совокупности правил нечетких продукций (ПНП), поскольку именно эти факторы являются определяющими для врача при составлении плана дальнейшего обследования на

предмет выявления предполагаемого заболевания.

Для каждой ВхЛП и ВыхЛП необходимо определить области возможных значений. Их примеры для некоторых из использованных в СППР переменных представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Примеры возможных значений ВхЛП

Название ЛП	Значение 1	Значение 2	Значение 3	Значение 4	Значение 5
Апп	Снижен	Сохранен	Повышен		
КислЖС	Меньше нормы	Норма	Больше нормы		
Возр	Детский	Молодой	Средний	Пожилой	Старый
П	Мужской	Женский			

ВыхЛП системы нечеткого логического вывода представляют собой рекомендации врачу при постановке диагноза. Они содержат сведения о наличии заболевания у пациента, виде патологии и степени уверенности системы в правильности формируемых рекомендаций. Данные характеристики определяются для каждого заболевания, распознаваемого системой. Степень уверенности вычисляется в виде числового коэффициента уверенности χ и значения ЛП «Уверенность в диагнозе» (УвД), описанных далее (этап 6).

Разработанная система нечеткого вывода обеспечивает поддержку принятия решений для следующих заболеваний: язвенная болезнь желудка (ЯБЖ), язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки (ЯБДПК) и прочее заболевание (ПрЗ). Для них в таблице 4 представлены ВыхЛП и их лингвистические значения. Переменные, представленные в таблице 4, являются первичными выходными ЛП (ВыхЛП). К ВыхЛП

также относятся и вторичные ЛП «Вид заболевания» (ВидЗ) и «Наличие заболевания» (НалЗ).

Таблица 4 – Примеры возможных выходных ЛП и их значений

ВыхЛП	Возможные значения
УвД ЯБЖ	Скорее всего, заболевания нет
	Скорее нет, чем есть
	Скорее есть, чем нет
	Скорее всего, заболевание есть
УвД ЯБДПК	Скорее всего, заболевания нет
	Скорее нет, чем есть
	Скорее есть, чем нет
	Скорее всего, заболевание есть
УвД ПрЗ	Скорее всего, заболевания нет
	Скорее всего, заболевание есть

Значения этих переменных получаются с помощью четких логических преобразований из значений ранее описанных ВыхЛП (которые могут принимать значения логических «0» и «1»), что схематично изображено на рисунке 1, где блоки «ИЛИ» и «И» обозначают стандартные операции дизъюнкции и конъюнкции четкой логики.

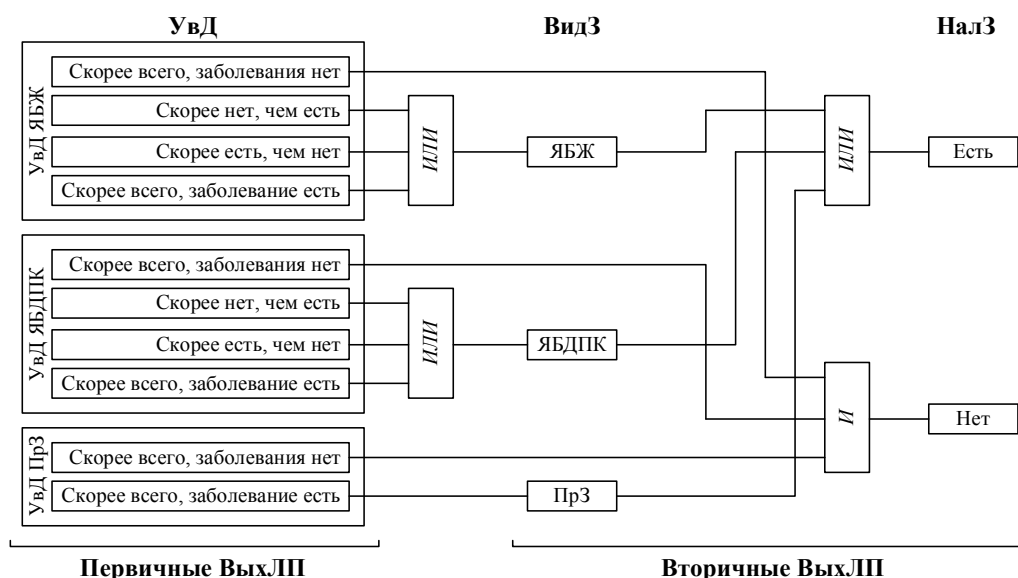


Рисунок 1 – Схема получения вторичных ВыхЛП в результате обобщения первичных

На основе выбранных ВхЛП и ВыхЛП (см. таблицы 1 и 4) формируется совокупность ПНП. Она представляет собой результат объединения входных ЛП для вычисления выходных ЛП. В системе с четкой логикой он может быть задан в виде аналитической, графической или табличной зависимости. Преимуществом же нечеткой логи-

ки является возможность описывать функционирование системы с помощью правил нечетких продукций. Они по структуре близки к языковым конструкциям и поэтому легко могут быть составлены непосредственно врачами, а также техническими специалистами на основе информации о предметной области, в том числе на ос-

нове данных литературных источников и мнений экспертов. Набор правил может меняться в процессе работы системы.

Совокупность ПНП может быть разделена на группы в соответствии с входящими в них ВхЛП и ВыхЛП. Кроме того, отдельно выделяются так называемые болевые факторы, так как боль и ее характеристики являются одними из наиболее важных факторов диагностики выбранного класса желудочно-кишечных заболеваний.

Пусть ПНП имеет вид:

ЕСЛИ: «Условие₁ = истина»

И «Условие₂ = истина»

... **И** «Условие_n = истина»

ТО: «Заключение₁ = истина»

И «Заключение₂ = истина»

... **И** «Заключение_m = истина».

Условия, соединенные в ПНП через «**ИЛИ**», не рассматриваются. При наличии данной логической операции в условии ПНП разбивается на несколько более мелких правил. Если ПНП содержит «**ИЛИ**» в заключительной части, то оно

не обладает необходимой для диагностики специфичностью.

На этапе 2 (после определения системы ПНП и входящих в нее ЛП) в процессе фаззификации приводятся к лингвистическому типу изначально четкие числовые переменные. Для этого ставится в соответствие четкому множеству значений совокупность терм-множеств ЛП. Функции принадлежности μ четкой величины нечеткому терм-множеству, соответствующему одному из значений ВхЛП, предлагается определять с помощью методов экспертной оценки. Пусть эксперт $\bar{E}_i$ ($i = \overline{1, g}$ – номер эксперта) считает, что носителем нечеткого терм-множества лингвистического значения (ЛЗ) ВхЛП является отрезок $[a_i; b_i]$ на оси x . Тогда, исходя из распределения мнений экспертов, можно построить функцию принадлежности (ФП) терма, где значение функции $\mu = \mu(x)$ пропорционально количеству экспертов, считающих конкретное значение x соответствующим данному ЛЗ (рисунок 2).

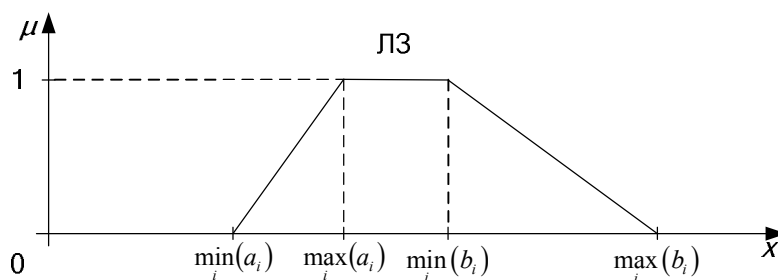


Рисунок 2 – Получение функции принадлежности терма ВхЛП

На представленном рисунке по оси x откладываются значения четкой фаззифицируемой переменной. При этом $\min_i(a_i)$ и $\max_i(a_i)$ – минимальное и максимальное значения среди левых границ отрезков на оси x , соответствующих мнениям экспертов, а $\min_i(b_i)$ и $\max_i(b_i)$ – минимальное и максимальное значения среди правых границ соответственно. На участке оси x , где $\mu = 1$, мнения экспертов сходятся.

Среди ВхЛП четкими и, следовательно, требующими фаззификации для обработки их значений с помощью системы нечеткого логического вывода являются следующие переменные: СБПП, Возр, ОН, КислЖС, Кур, Алк, Ст. На-

пример, функции принадлежности μ термов в зависимости от времени t , полученные для ЛП СБПП от момента приема пищи, представлена на рисунке 3.

Остальные ЛП являются нечеткими или лингвистическими изначально. Значит, для них фаззификация не имеет смысла. Они уже представлены в виде ФП, что является выходными данными текущего этапа. Каждое из n условий вида ««ВхЛП_i = Зн_{i1}» **ИЛИ** «ВхЛП_i = Зн_{i2}» **ИЛИ** ... **ИЛИ** «ВхЛП_i = Зн_{ij}»» состоит из m подусловий «ВхЛП_i = Зн_{ij}», где Зн_{ij} – j -е значение i -й ЛП в подусловии. Пусть текущее подусловие определяется номером ij значения входной ЛП.

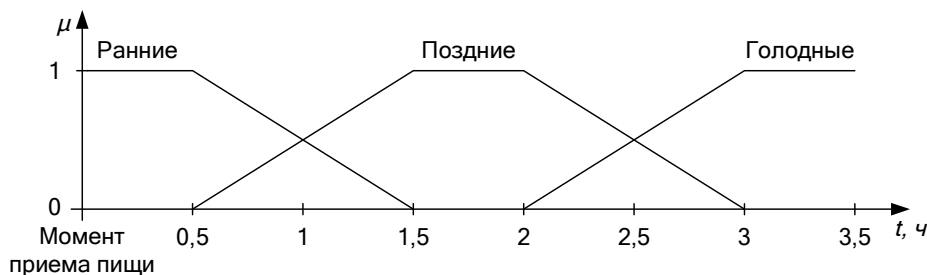


Рисунок 3 – Функция принадлежности для ВыхЛП «СБПП»

При этом степень истинности подусловий (ПУ) с номером ij соответственно обозначается как μ_{ij} . В итоге для всех подусловий данного ПНП формируется на основе таблицы 3 матрица M , отражающая функции принадлежности термов ВыхЛП:

$$M = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \cdots & \mu_{nm} \end{pmatrix},$$

где $i = \overline{1, n}$ – номер строки, а $j = \overline{1, m}$ – номер столбца в таблице 3.

На этапе 3 с использованием данного представления набора функций принадлежности производится агрегирование подусловий согласно выбранному ранее алгоритму. Данный этап используется только для тех ПНП, условия которых содержат более одного подусловия. При этом на основе степеней истинности подусловий в процессе агрегирования вычисляется степень истинности условия.

На 4-м этапе активации вычисляется степень истинности заключений (З) исходя из степеней истинности условий и весовых коэффициентов правил. Для этого сначала определяется диагностическая значимость правила, которая является нечеткой величиной. Для веса $F_k \in [0; 1]$ k -го правила ПНП _{k} функция принадлежности (ФП) получается по тому же принципу, что и получение ФП на этапе фаззификации, т.е. на основе знаний экспертов или (и) литературных источников. Вес F_k правила ПНП _{k} в четком виде может быть получен с помощью дефаззификации нечеткого весового коэффициента методом центра тяжести.

Предположим, что известны весовые коэффициенты F_k , $k = \overline{1, q}$, где q – количество ПНП. Обозначим через q_{uv} – количество ПНП, где в заключении определяется ФП u -го термина v -й ВыхЛП. Следует учитывать, что $F_k \neq 0$

только для одного из термов одной из ВыхЛП. Для прочих ВыхЛП и оставшихся термов данной ВыхЛП $F_k = 0$. Тогда:

$$\mu_{uv}^*(y_u) = \tilde{\mu}_{uv}(y_u) \cdot \frac{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k \cdot \min_i \left(\max_j (\mu_{ij}(x_i)) \right)}{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k},$$

где y_u – переменная с рациональными значениями, соответствующая u -й ВыхЛП.

На 5, 6 этапах производятся аккумуляция подзаключений и дефаззификация ВыхЛП, результатом которой является вычисление коэффициента уверенности $\chi_u \in [0; 1]$ для u -й ВыхЛП:

$$\chi_u = \frac{\int_{Min}^{Max} y_u \cdot \max_v \left(\tilde{\mu}_{uv}(y_u) \cdot \frac{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k \cdot \min_i \left(\max_j (\mu_{ij}(x_i)) \right)}{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k} \right) dy_u}{\int_{Min}^{Max} \max_v \left(\tilde{\mu}_{uv}(y_u) \cdot \frac{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k \cdot \min_i \left(\max_j (\mu_{ij}(x_i)) \right)}{\sum_{k=1}^{q_{uv}} F_k} \right) dy_u},$$

где Min , Max – левая и правая границы интервала носителя НМ рассматриваемой u -й ВыхЛП. Промежуточные переменные «Возможность ЯБЖ» и «Возможность ЯБДПК» имеют одинаковые термы. Пример перехода от промежуточных ЛП к соответствующим ВыхЛП в процессе дефаззификации изображен на рисунке 4 для значения $\chi_u = 0,74$.

Было установлено, что значения ВыхЛП получаются на основе значений промежуточных ЛП, взятых через одно, и применения логической связки «ИЛИ» с соседними значениями. В результате максимум ФП термина ВыхЛП наблюдается при превосходстве 1, 3, 5 и 7 термов промежуточной ЛП над соседними. Остальные точки достраивались из расчета того, что для любого y_u сумма ФП для всех термов равна единице.

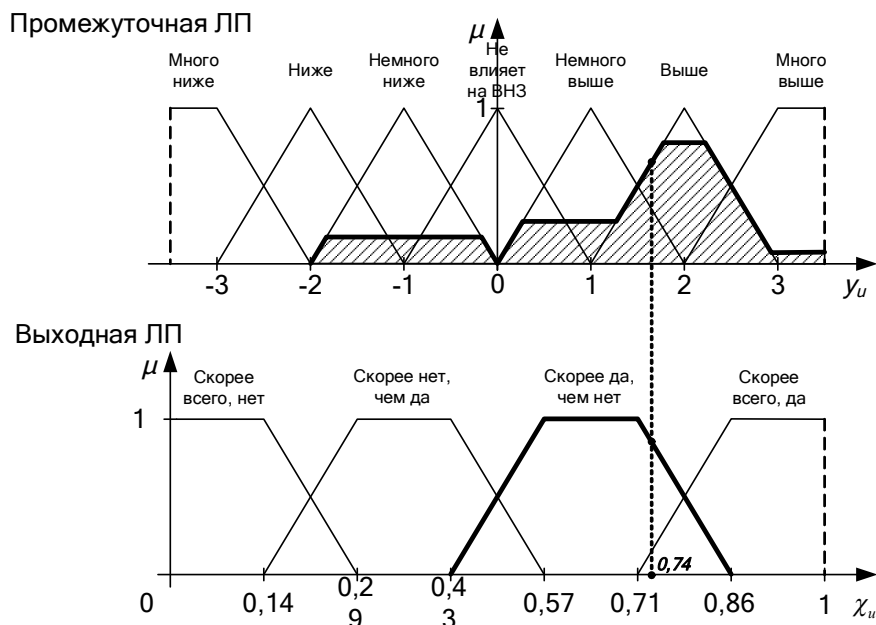


Рисунок 4 – Функции принадлежности промежуточных и выходных ЛП

Данная связь промежуточной ЛП и ВыхЛП построена на основе экспертных оценок. При $\chi_u \in [0, 79; 1]$ ВыхЛП принимает значение «Скорее всего, заболевание есть», что расценивается как достоверное «мнение» СППР о наличии патологии.

Заключение. Таким образом, сформированная для СППР система нечеткого логического вывода обеспечивает поддержку принятия решений при проведении видеоэндоскопической диагностики. В итоге, пройдя последовательно все вышеописанные этапы, врач с помощью СППР может получить на основании данных истории болезни и видеоэндоскопического на-

блюдения рекомендации по постановке диагноза.

Библиографический список

1. Иванова Т.Б., Локтюхин В.Н., Черепнин А.А. Принципы организации видеоэндоскопической системы с расширенными функциональными возможностями // Вестник РГРТУ, выпуск 21. – Рязань, 2007. – С. 40-43.
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М., 2002. – 344 с.
3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2006. – 452 с.
4. Крутлов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы. – М., 2002. – 256 с.